



REVISIÓN SOBRE LOS SISTEMAS TECNOLÓGICOS EMPLEADOS EN DETECTAR Y REGISTRAR LA FRECUENCIA CARDIACA EN DEPORTE

Review about Technological Systems used to detect and record heart rate in sport

José Pino Ortega
Iván Molina Carmona

Mail: josepinoortega@gmail.com
Mail: ivanmolinacarmona@gmail.com

Recibido: 16/01/2013
Aceptado: 13/03/2013

Universidad de Murcia. Facultad de Ciencias del Deporte

Correspondencia:

José Pino Ortega
C/Argentina s/n
Campus de San Javier
0720 - Santiago de la Ribera-San Javier(Murcia)
Mail: josepinoortega@gmail.com

Resumen

La frecuencia cardiaca es una de las principales variables utilizada para conocer la intensidad de la actividad física por lo que el análisis de la actividad del corazón durante la realización de ejercicio físico ha sido y es uno de los principales temas de investigación. En este trabajo se ha realizado una revisión de la diferente tecnología de captación y registro de la frecuencia cardiaca disponible actualmente, así como de los distintos sistemas de detección y registro vigentes. A modo de conclusión decir que el desarrollo tecnológico ha permitido generar instrumentos de sencilla utilización y que, de una manera objetiva, facilitan el registro de la intensidad de la actividad física y el deporte.

Palabras clave: tecnología, frecuencia cardiaca, sistemas, detección, registro.

Abstract

Heart rate is one of the main variables used to determine the intensity of physical activity. Therefore, the analysis of heart activity during the carrying out of physical exercise has been one of the main research topics. This paper presents a review of the different technology uptake and heart rate recording currently available, as well as the different detection systems and current registration.

To sum up, it is necessary to highlight that technological development has allowed generating tools of easy use so, they facilitate the registration of the intensity of physical activity and sport.

Keywords: Technology, heart rate, systems, detection, registration.

1. Introducción

La frecuencia cardíaca (FC) es uno de los parámetros no-invasivos más utilizado en el análisis y valoración de la actividad cardíaca (Rodas, Pedret, Carballido, & Capdevila, 2008).

El equipo necesario para medir y registrar dichos impulsos eléctricos procedentes del corazón, comúnmente se denomina electrocardiógrafo (Wilmore & Costill, 2001). Mediante este sistema se registra la FC y el comportamiento eléctrico del corazón, estudiándose el ritmo, la frecuencia, las diferentes ondas, segmentos, intervalos y ejes cardíacos, además de las visiones particulares de acuerdo a las 12 derivaciones de un electrocardiograma (ECG) standard, y la posibilidad de interpretar arritmias, bloqueos, y aspectos patológicos. A nivel deportivo se utiliza el pulsómetro, el cual registra únicamente la FC y, en algunos sistemas, la Variabilidad de la Frecuencia Cardíaca (VFC) (Segura, 2007).

El uso de la FC tiene una serie de ventajas como son el coste de los sistemas, el cual es accesible, la gran disponibilidad de software para el análisis de los datos y ser poco invasivo. Pero también tiene una serie de desventajas ya que existen una serie de variables contaminantes como la temperatura ambiente, stress, fármacos, edad, aptitud física, que pocas veces se toman en cuenta. Además en determinadas actividades no es la variable más objetiva para medir las intensidades de los movimientos, como por ejemplo, en carreras de corta distancia.

En una persona sana, en reposo, los latidos se van produciendo con una frecuencia variable, es decir, el tiempo (en milisegundos) entre dos latidos va variando latido a latido. Este aspecto representa el concepto de VFC (HRV, Heart Rate Variability), que se define como la variación de la frecuencia del latido cardíaco durante un intervalo de tiempo definido con anterioridad (nunca superior a 24 horas) en un análisis de períodos circadianos consecutivos. La manera habitual de medir esta variabilidad es a partir del ECG, donde se detecta cada una de las ondas R y se calcula el tiempo entre las diferentes ondas R consecutivas o intervalo R-R. Este intervalo R-R mide el período cardíaco, y la función inversa la FC. La serie de intervalos R-R es lo que llamamos VFC (Rodas et al. 2008).

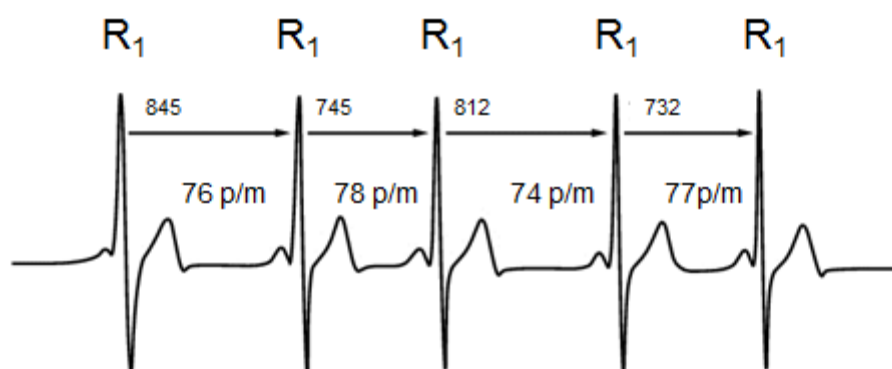


Figura 1. VFC latido a latido. A partir del ECG, se calcula el intervalo entre picos R-R y se expresa la VFC en segundos (s) y la FC en latidos por minuto (p/m) (Rodas et al., 2008).

Las fluctuaciones cardiacas, están condicionadas por los procesos respiratorios de inspiración y espiración y mediadas por la actividad de los sistemas nerviosos simpático y parasimpático (Maud & Foster, 2006). Las fluctuaciones de la FC son comúnmente valoradas por las mediciones del intervalo R-R como se muestran en la figura 1.

Diversos estudios recientes manifiestan que altos valores de la VFC se correlacionan de manera positiva con altos consumos de oxígeno, mientras que bajos valores dan lugar a incrementos en la mortalidad (Tsuji et al., 1994) y un riesgo elevado en el desarrollo de patologías cardiacas en pacientes asintomáticos (Molgaard, Sorensen, & Bjerregaard, 1991). Existen investigaciones que han denotado que su comportamiento depende del funcionamiento del Sistema Nervioso Autónomo (SNA) (Gallo, Farbiarz, & Álvarez, 1999) y otros sistemas de regulación fisiológicos (Maud & Foster, 2006).

La relación entre la FC y la VFC respecto a la intensidad y la carga de trabajo es inversamente proporcional, es decir, conforme aumentan la FC y la carga de trabajo, disminuye la VFC (esta disminución es especialmente pronunciada en los primeros momentos del esfuerzo físico).

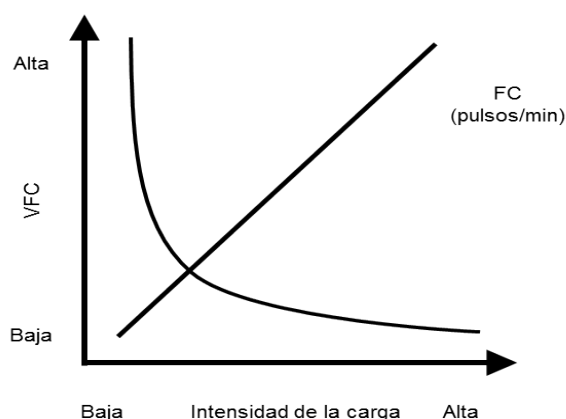


Figura 2. Relación de la FC y la VFC con la intensidad de la carga de trabajo (Rodas et al., 2008).

Cabe destacar la importancia del estudio de la FC como una variable fisiológica que proporciona información en el entrenamiento deportivo, ya que su conocimiento y control permite detectar los cambios que ocurren en el organismo como resultado de los esfuerzos físicos de diferente intensidad y duración. Dicho indicador ha sido estudiado por los especialistas, para analizar los esfuerzos producidos en situaciones de competición (Fleming, Donne, Fletcher, & Mahony, 2012; Sultana et al., 2012; Cheng, Yang, Lin, Lee, & Wang, 2012), permitiendo así tener un mayor conocimiento de las demandas energéticas que ocurren en dicha competición y poder así realizar un trabajo más efectivo de la dosificación de las cargas físicas aplicadas durante el entrenamiento.

Así pues, la VFC es un valor para la medición de la actividad neurovegetativa y de la función del SNA que describe la capacidad del organismo (en especial del aparato cardiovascular) para cambiar el intervalo temporal latido a latido, dependiendo de la intensidad de la carga de trabajo, para poder adaptarse a las demandas cambiantes tanto externas como internas (Rodas et al., 2008).

El análisis de la actividad del corazón durante la realización de ejercicio físico ha sido y es uno de los principales temas de investigación (McNeilly et al., 2012; Hopkins et al., 2012; Newcomer et al., 2012; Simmonds et al., 2012) en el ámbito del deporte y la actividad física. En la tabla 1 se muestran algunas investigaciones realizadas en el año 2012 agrupadas en diez líneas de investigación.

Tabla 1. Investigaciones recientes agrupadas en diferentes líneas de investigación.

<i>Validity and reliability of the heart rate monitor</i>	Ehmen et al., 2012; Wallén, Hasson, Theorell, Canlon, & Osika, 2012; Buchheit, Simpson, Al-Haddad, Bourdon, & Mendez-Villanueva, 2012.
<i>Training for fitness and health</i>	Hopkins et al., 2012; McNeilly et al., 2012; Duscha et al., 2012.
<i>Rehabilitation</i>	Moholdt et al., 2012; Hassett, Moseley, Whiteside, Siobhan Barry, & Jones, 2012; Naylor & Ko, 2012.
<i>Physical activity and energy expenditure assessment</i>	Arikawa, O'Dougherty, Kaufman, Schmitz, & Kurzer, 2012; Hautala et al., 2012; Gendle et al., 2012.
<i>Performance and fitness testing</i>	Rattray et al., 2012; Lee, Lin, & Cheng, 2012; Sealey, Leicht, & Ness, 2012.
<i>Other medical issues</i>	Newcomer et al., 2012; Simmonds et al., 2012; Marios, Dalton, & Smart, 2012.
<i>Other exercise issues</i>	Rose & Parfitt, 2012; England, Maddocks, Manderson, & Wilcock, 2012; Armstrong, Ahmad, Seely, & Kenny, 2012.
<i>Occupational medicine</i>	Saavedra-Robinson, Quintana, Fortunato, & Niño, 2012; Rai, Gandhi, & Sharma, 2012; Bhatt & Sidhu, 2012.
<i>Development and validation of Polar features</i>	Lowe & ÓLaighin, 2012; Haddad, Chaouachi, Castagna, Wong, & Chamari, 2012.
<i>Competitive Sports and Training</i>	Fleming et al., 2012; Sultana et al., 2012; Cheng, et al., 2012.

2. Revisión de la tecnología:

Sistemas de detección y registro de la FC en deporte

El objetivo de la presente revisión ha sido recopilar la diferente tecnología de captación y registro de la FC existente, así como los distintos sistemas de detección y registro vigentes.

Como base fundamental, la revisión tuvo en consideración la tecnología empleada por los diferentes sistemas de cuantificación de la FC así como las diferentes posibilidades de los mismos que se encuentran en el mercado.

2.1 Tecnología empleada para la captación y registro de la FC

2.1.1 Tecnología empleada para la captación de la FC

2.1.1.1 Táctil en la pantalla de un reloj

El principio de funcionamiento consiste en una pantalla táctil. Para detectar la FC se coloca el dedo pulgar durante un periodo breve de tiempo y a continuación la pantalla muestra dicha FC. Actualmente casi están en desuso, por ser incómodos en su utilización y poco precisos. Podemos destacar algunos ejemplos:

- HRT (New Balance) (<http://goo.gl/nph0y>).
- Highgear (New Balance) (<http://goo.gl/QwVUL>).

Dentro de estos podemos resaltar sistemas que miden el pulso colocando las manos en dos sensores integrados en el manillar de las bicicletas estáticas o elípticas. Son exclusivos para aparatos de gimnasios o salas de fitness, dado que van integrados en el aparato, por lo que no se pueden utilizar para otra finalidad. Podemos destacar algunos ejemplos:

- Empresa kettle (<http://goo.gl/Ut738>).
- Empresa Care Fitness (<http://goo.gl/krXFA>).
- BH (<http://goo.gl/fv118>).
- Energetics (<http://goo.gl/XLCif>).

2.1.1.2 Registro mediante una cinta o banda con dos electrodos

El principio de funcionamiento consiste en registrar la actividad eléctrica mediante una cinta o banda que se coloca el sujeto en el pecho. Son los más utilizados y extendidos, por su sencillez, facilidad de uso y precisión. Como único inconveniente destacar que su uso frecuente conlleva un agotamiento de la batería, lo que desemboca a su sustitución, en algunas marcas. En otras, en cambio, requiere la adquisición de una banda nueva por la imposibilidad de cambiar la batería. Este tipo de dispositivos por lo general registran dos variables: FC y R-R.

2.1.1.3 *Camisetas sensorizadas*

El principio de funcionamiento de estos sistemas se basa en que se sustituye la cinta o banda por una camiseta donde se inserta el dispositivo para recibir la señal eléctrica y enviarla a un dispositivo. Podemos destacar algunos ejemplos:

- Cardiosport (<http://goo.gl/5LZsk>).
- Numetrex (<http://goo.gl/SjhDg>).
- Gowtrainer (<http://goo.gl/geQRO>).

2.1.2 *Tecnología empleada para el registro de la FC*

2.1.2.1 *Registro de los datos de la FC en el dispositivo de captación*

Son pocos los sistemas que utilizan esta tecnología. La empresa finlandesa Suunto Cororation ha desarrollado un sistema que utiliza esta tecnología denominado “Suunto Memory Belt” (<http://goo.gl/OW93J>). Este sistema registra los datos en un chip de memoria integrado en la banda. Estos datos podrán ser descargados en el ordenador mediante un Docking Station conectado al mismo y mediante un software específico se pueden analizar (<http://goo.gl/Cz5xr>). Este método es compacto, fácil de usar y no necesita mucho mantenimiento.

2.1.2.2 *Registro de los datos de la FC en otro dispositivo diferente al de captación*

Todos estos sistemas utilizan la banda ISM de 2,4 GHz. El principio de funcionamiento consiste en registrar la señal eléctrica del corazón a través de los electrodos de la banda. Dicha información es enviada inalámbricamente a un dispositivo externo (reloj, teléfono, ordenador, etc.) para su almacenamiento. Dentro de esta tecnología se incluye:

2.1.2.2.1 *Tecnología Bluetooth*

La conectividad Bluetooth (BT) es una característica de casi todos los Smartphones modernos, lo cual no significa que un terminal de Smartphones con conexión BT se pueda conectar con cualquier dispositivo BT. La combinación correcta de teléfono, aplicación y accesorio BT funcionarán juntos. Por ejemplo, el iPhone no permite actualmente las conexiones necesarias para los monitores de ritmo cardíaco BT. Los teléfonos con el sistema operativo Android pueden permitir estas conexiones, pero sólo con un firmware más reciente (Android v2.x). La empresa Zephyr Technology Ltd., MD, USA ha desarrollado: Zephyr HxM (<http://goo.gl/hzos5>), BioHarness (<http://goo.gl/V6PiU>) y monitores cardíacos BT. Por otro lado la empresa Polar ha desarrollado el Polar WearLink, un monitor de FC BT (<http://goo.gl/NK0fx>). Cada producto requiere una combinación adecuada de firmware del teléfono y la aplicación para su correcto funcionamiento.

2.1.2.2.2 *Tecnología ANT+*

La tecnología ANT+ es una tecnología de protocolo de comunicación inalámbrica. Esta tecnología ha sido diseñada y fabricada por la empresa canadiense Dynastream Innovations Inc. (<http://goo.gl/3nbiK>), filial de Garmin. Las características principales de los aparatos provistos de tecnología ANT+ son las siguientes: opera en la banda 2.4GHz, consumo muy bajo (una pila tipo 2032 enviando un mensaje cada 2 segundos puede durar hasta 4 años) y seguridad de datos con clave de 64 bits. Los fabricantes de aparatos de uso deportivo, como Garmin, SRM, Timex y Suunto entre otros, son sólo algunas de una gran variedad de marcas que son compatibles con ANT +. Cabe destacar las ventajas sobre el estándar BT en forma de eficiencia de administración de energía. Mientras que los sensores BT mencionados anteriormente requieren recarga regular o una nueva batería de tipo botón cada pocas semanas, los sensores de ANT + pueden pasar años con la misma fuente de alimentación. Esto se cumple en ambos extremos de la conexión, por lo que es una elección adecuada e interesante para todos los teléfonos inteligentes actuales. En el mercado actual existen gran variedad de sensores ANT +, sin embargo terminales que integran el chip ANT + en el dispositivo son escasos. Al igual que BT, un sistema ANT + en el teléfono móvil requiere la combinación correcta del mismo con la aplicación y el sensor.

2.2 *Sistemas empleados para la captación y registro de la FC*

Debido a la variabilidad de posibilidades que nos ofrece la tecnología, existen diferentes sistemas para registrar, enviar, almacenar y visualizar la FC.

2.2.1 *Sistemas que utilizan sólo la Banda para registrar y almacenar la FC*

La actividad eléctrica es registrada por los electrodos de la banda y almacenada en la misma. Posteriormente mediante una base de conexión (Docking), se transfieren los datos al ordenador para poder ser analizarlos con el software. Un ejemplo de este tipo es la banda desarrollada por la empresa Suunto, denominado Suunto Memory Belt (<http://goo.gl/57G15>) y Memory Belt Docking Station (<http://goo.gl/htoRG>). A nivel deportivo, no sería necesario la utilización de un reloj para el almacenamiento de la información, sin embargo, no se puede visualizar los datos durante la realización del deporte.

2.2.2 *Sistemas que utilizan una Banda para registrar la FC y realizan el registro en un Reloj*

La actividad eléctrica es registrada por los electrodos de la banda y enviada a un reloj para su almacenamiento. En la tabla 2 se muestran algunos sistemas, así como la tecnología inalámbrica que utilizan para enviar la información.

Tabla 2: Sistemas de registro de la FC y tecnología que emplean para enviar los datos al dispositivo de almacenamiento.

Sistema	Tecnología	URL
Adidas (HR mediante IPOD)	ANT+	http://goo.gl/WnpFG
Alive (ECG)	Cables	http://goo.gl/VV1Px
Aquapulse (HR natación)	Cable-Acuático	http://goo.gl/pQanU
Band PowerCal (ANT)	ANT+	http://goo.gl/g9w69
Cardopspot	ANT+	http://goo.gl/ACRGU
EKHO	ANT+	http://goo.gl/pvRo2
Garmin	ANT+	http://goo.gl/sKHTc
Geonaute Kalanji	ANT+	http://goo.gl/5t15m
Gow	Bluetooth	http://goo.gl/DXzAv
Highgear	2.4 Ghz Digitally Coded	http://goo.gl/XEEhu
Kinetic	Bluetooth	http://goo.gl/j8Alp
Megellan	ANT+	http://goo.gl/WYbx5
Mio	ANT+	http://goo.gl/DbtP1
MOBII	ANT+	http://goo.gl/wzyO5
Motorola	ANT+	http://goo.gl/JKivr
Nike (podometro)	Polar Wearlink+	http://goo.gl/MGnfJ
Numetrex	The Numetrex transmitter or a Polar analog 5.3khz.	http://goo.gl/L7Q22
Oregon	ANT+	http://goo.gl/ZjM7m
Polar H7 BLE	Bluetooth	http://goo.gl/1pTaY
ROR 3 (ANT)	ANT +	http://www.r0r3.com/
Sony (SmartWatch)	Bluetooth	http://goo.gl/ieTY5
THP2	<u>2.4 GHz Training System</u>	http://goo.gl/q7GDo
Timex	ANT +	http://goo.gl/G1dKu
VXSPORT	ANT +	http://goo.gl/F1UMb
Zephyr	BioHarness™ garment with the power and ubiquity of Bluetooth®	http://goo.gl/YIDMx
Kyto (Banda Bluetooth)	Bluetooth	http://goo.gl/xq5dJ

2.2.3 *Sistemas que utilizan una Banda para registrar la FC y realizan el registro en un dispositivo móvil con un chip ANT+ integrado*

En la actualidad existen diferentes sistemas operativos en los Smartphone. En la tabla 3 se muestra la cuota de mercado de sistemas operativos móviles a mediados del año 2012.

Tabla 3. Sistemas operativos móviles (2012)

Sistema operativo	Porcentaje de la cuota de mercado
<u>Android</u>	68,1%
<u>iOS</u>	19,9%
<u>BlackBerry OS</u>	4,8%
<u>Symbian OS</u>	4,4%
<u>Windows Phone</u> y <u>Windows Mobile</u>	3,5 % ⁰⁰
<u>Linux</u> u otros	2,8%

FUENTE: <http://goo.gl/sbtjl>

Android tiene la mayor cuota del mercado desde enero de 2011, con más de la mitad del mercado. Ha experimentado un creciente aumento y en solo dos años (2009-2011) ha pasado a ser el sistema operativo móvil más utilizado.

La empresa Sony ha lanzado al mercado un nuevo terminal móvil Sony Xperia con el sistema operativo Android. Este dispositivo integra un chip ANT+ lo que le permite leer cualquier dispositivo que emita utilizando dicha tecnología. Cualquier cinta de registro de FC que integre este chip, es compatible con este teléfono. Por ello en la cinta debe aparecer el logo de ANT+ (figura 3).

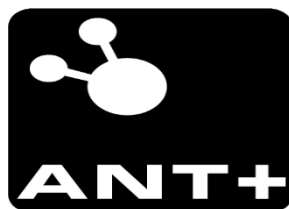


Figura 3. Logotipo que incorporan los dispositivos que utilizan la tecnología ANT+.

2.2.4 *Sistemas que utilizan una Banda para registrar la FC y realizan el registro en un dispositivo móvil con un dispositivo conectado al mismo (dispositivo con hardware (dongle) con ANT+)*

El aumento de la venta de terminales móviles, se ha convertido en un mercado emergente. La gran mayoría de estos dispositivos móviles, no integran el chip ANT+, lo que no permite recibir los datos enviados por cualquier sensor con esta tecnología. Por ello algunas empresas han desarrollado dispositivos, denominados Dongle para conectarlos a las terminales. Estos dispositivos integran el chip ANT+, lo que permite recibir los datos de los sensores que integran esta tecnología. Mediante aplicaciones instaladas en el dispositivo móvil, se pueden visualizar, almacenar e enviar la información a servidores. Actualmente, sólo se fabrican para los dispositivos con sistema operativo iOS y Android.

Algunos ejemplos de empresas que han desarrollado este tipo de dispositivos son:

- Wahoo (<http://goo.gl/y5fgb>).
- Digifit (<http://goo.gl/wMgWS>).

2.2.5 *Sistemas que utilizan más de una Banda para registrar la FC y los datos son enviados a una estación remota para su registro (recepción en pc)*

La empresa Polar (ElectroTM Polar, Kempele, Finlandia), en el año 2001, empezó a comercializar el sistema Polar Team System. Éste dispositivo fue uno de los primeros en aparecer en el mercado. Mediante una banda, registraba la FC y la almacenaba en dicha banda. Posteriormente mediante un interface se transferían los datos al ordenador (<http://goo.gl/vfKnY>).

En 2008, dicha empresa desarrolla el sistema denominado Polar Team Pro², el cual se diferencia del anterior en dos aspectos: no se producen interferencias entre las bandas y la información es enviada de forma inalámbrica a un ordenador, donde se muestra y se almacena.

El creciente interés en el análisis de la FC en los deportes colectivos, ha provocado el desarrollo de otros sistemas, en la tabla 4 se muestran los principales.

El interés de registrar y visualizar la FC ha pasado de tener uso individual a uno colectivo. En actividades que se realizan en sala como por ejemplo, fitness, spinning, etc., los usuarios realizan la actividad simplemente con una banda. Los datos registrados son enviados inalámbricamente y recibidos mediante una antena conectada a un ordenador, el cual está conectado a un proyector para visualizar la FC. Mediante estos sistemas se puede visualizar la Frecuencia Colectiva durante la realización de una actividad.

Tabla 4. Otros sistemas colectivos de registro de la frecuencia cardiaca.

Sistema	URL
BM innovations (Sólo HR)	http://goo.gl/3Vo37
Hosand	http://goo.gl/YCkQv
Suunto	http://goo.gl/F3ErF
Activiofitnees	http://goo.gl/tcHPa
Polar Team Pro ² ,	http://goo.gl/34Bu5
Acentas	http://goo.gl/F8l8A
Myzone	http://goo.gl/pEFEp
Zephyr	http://goo.gl/NjTLm
Ekho Team System	http://goo.gl/N1XW4
My pulse smart monitor	http://goo.gl/iHUh4
First Beat	http://goo.gl/lmYRj

3. Conclusiones

El desarrollo tecnológico ha permitido generar instrumentos fáciles de utilizar y que, de una manera objetiva, facilitan el registro de la intensidad de la actividad física y el deporte. Uno de los principales problemas existentes en la adquisición de estos dispositivos es la gran variabilidad disponible. Por tanto, habría que tener algunas consideraciones en función de las necesidades: uso individual o colectivo, ámbito de aplicación de investigación o deportivo (profesional, semiprofesional o personal) y por último, disponibilidad económica.

El registro de la FC es ampliamente utilizado, siendo el método de elección preferido por muchos investigadores para medir la intensidad de la actividad física y el deporte por medio de los latidos por minuto del corazón y la VFC. Dicho avance científico ha permitido crear sistemas portables y que se puedan utilizar durante el entrenamiento, como es el caso del a empresa Nuubo (<http://goo.gl/JA8Na>). El sistema permite la captura del ECG en entornos dinámicos de forma continua y no invasiva a través de un innovador sistema que está basado en textiles biomédicos de nueva generación.

El análisis de la intensidad de la actividad física y el deporte en base al análisis de la FC en determinadas situaciones no aporta la información más objetiva, debido a las características de la actividad. Por ello, en la última década han aparecido en el mercado diferentes sistemas que integran varios sensores. A este tipo de sensores se les denomina IMUs (Inertial Movement Unit). Estos dispositivos registran la FC, velocidad, distancia, aceleración, etc. Por tanto, en función de la actividad a realizar, se puede analizar la intensidad con diferentes indicadores: FC, velocidad o aceleración.

Referencias

- Arikawa, A. Y., O'Dougherty, M., Kaufman, B. C., Schmitz, K. H., & Kurzer, M. S. (2012). *Attrition and adherence of young women to aerobic exercise: lessons from the WISER study. Contemporary Clinical Trials*, 33(2), 298-301.
- Armstrong, R. G., Ahmad, S., Seely, A. J., & Kenny, G. P. (2012). *Heart rate variability and baroreceptor sensitivity following exercise-induced hyperthermia in endurance trained men. European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 501-511.
- Bhatt, H., & Sidhu, M. K. (2012). *Physiological stress assessment of female workers at kitchen workstation. Work*, 41, 441-446.
- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al-Haddad, H., Bourdon, P. C., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 711-772.

- Cheng, C. F., Yang, Y. S., Lin, H. M., Lee, C. L., & Wang, C. Y. (2012). *Determination of critical power in trained rowers using a three-minute all-out rowing test. European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1251-1260.
- Duscha, B. D., Annex, B. H., Johnson, J. L., Huffman, K., Houmard, J., & Kraus, W. E. (2012). Exercise dose response in muscle. *International Journal of Sports Medicine*, 33(3), 218-223.
- Ehmen, H., Haesner, M., Steinke, I., Dorn, M., Gövercin, M., & Steinhagen-Thiessen, E. (2012). *Comparison of four different mobile devices for measuring heart rate and ECG with respect to aspects of usability and acceptance by older people. Applied Ergonomics*, 43(3), 582-587.
- England, R., Maddocks, M., Manderson, C., & Wilcock, A. (2012). *Factors influencing exercise performance in thoracic cancer. Respiratory Medicine*, 106(2), 294-299.
- Fleming, N., Donne, B., Fletcher, D., & Mahony, N. (2012). *A biomechanical assessment of ergometer task specificity in elite flatwater kayakers. Journal of Sports Science and Medicine*, 11, 16-25.
- Gallo, J., Farbiarz, J., & Álvarez, D. (1999). Análisis espectral de la variabilidad de la frecuencia cardíaca. *Iatreia*, 12(2), 61-71.
- Gendle, S. C., Richardson, M., Leeper, J., Hardin, L. B., Green, J. M., & Bishop, P. A. (2012). *Wheelchair-mounted accelerometers for measurement of physical activity. Disability Rehabilitation*, 7(2), 139-148.
- Haddad, M., Chaouachi, A., Castagna, C., Wong, D. P., & Chamari, K. (2012). *The convergent validity between two objective methods for quantifying training load in young taekwondo athletes. The Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(1), 206-209.
- Hassett, L. M., Moseley, A. M., Whiteside, B., Siobhan Barry, S., & Jones, T. (2012). *Circuit class therapy can provide a fitness training stimulus for adults with severe traumatic brain injury: a randomised trial within an observational study. Journal of Physiotherapy*, 58(2), 105-112.
- Hautala, A., Martinmaki, K., Kiviniemi, A., Kinnunen, H., Virtanen, P., Jaatinen, J., & Tulppo, M. (2012). *Effects of habitual physical activity on response to endurance training. Journal of Sports Sciences*, 30(6), 563-569.
- Hopkins, N. D., Stratton, G., Cable, N. T., Tinken, T. M., Graves L. E. F., & Green, D. J. (2012). *Impact of exercise training on endothelial function and body composition in young people: a study of mono- and di-zygotic twins. European Journal of Applied Physiology*, 112(2), 421-427.
- Lowe, S., & ÓLaighin, G. (2012). *The Age of the Virtual Trainer. Procedia Engineering*, 34, 242-247.
- Lee, C. L., Lin, J. C., & Cheng, C. F. (2012). *Effect of creatine plus caffeine supplements on time to exhaustion during an incremental maximum exercise. European Journal Sport Science*, 12(4), 338-346.
- Marios, T., Dalton, S., & Smart, N. A. (2012). *The effect of tele-monitoring on exercise training adherence, functional capacity, quality of life and glycemic control in patients with type II diabetes. Journal of Sports Science and Medicine*, 11, 51-56.
- Maud, J., & Foster, C. (2006). *Physiological assessment of human fitness* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

- McNeilly, A. M., McClean, C., Murphy, M., McEneny, J., Trinick, T., Burke, G., (...), & Davison, G. (2012). *Exercise training and impaired glucose tolerance in obese humans*. *Journal of Sports Sciences*, 30(8), 725-732.
- Moholdt, T., Aamot, I. L., Granøien, I., Gjerde, L., Myklebust, G., Walderhaug, L., (...), & Slørdahl, S. A. (2012). *Aerobic interval training increases peak oxygen uptake more than usual care exercise training in myocardial infarction patients: randomised, controlled study*. *Clinical Rehabilitation*, 26(1), 33-44.
- Molgaard, H., Sorensen, K. E., & Bjerregaard, P (1991). Attenuated 24-h heart rate variability in apparently healthy subjects, subsequently suffering sudden cardiac death. *Clinical Autonomic Research*, 1(3), 233-237.
- Naylor, J. M., & Ko, V. (2012). Heart rate response and factors affecting exercise performance during home- or class-based rehabilitation for knee replacement recipients: lessons for clinical practice. *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, 18(2), 449-458.
- Newcomer, S. C., Taheripour, P., Bahls, M., Sheldon, R. D., Foust, K. B., Bidwell, C. A., & Cabot, R. (2012). *Impact of porcine maternal aerobic exercise training during pregnancy on endothelial cell function of offspring at birth*. *Journal of Developmental Origins of Health and Disease*, 3(1), 4-9.
- Rai, A., Gandhi, S., & Sharma, D. K. (2012). *Ergonomic evaluation of conventional and improved methods of Aonla pricking with women workers*. *Work*, 41, 1239-1245.
- Rattray, B., & Roberts, A. D. (2012). *Athlete assessments in orienteering: Differences in physiological variables between field and laboratory settings*. *European Journal Sport Science*, 12(4), 293-300.
- Rodas, G., Pedret, C., Carballido, J., & Capdevila, L. (2008). Variabilidad de la frecuencia cardiaca: concepto, medidas y relación con aspectos clínicos (parte II). *Archivos de medicina del deporte: revista de la Federación Española de Medicina del Deporte y de la Confederación Iberoamericana de Medicina del Deporte*, 15(123), 41-48.
- Rose, E. A., & Parfitt, G. (2012). *Exercise experience influences affective and motivational outcomes of prescribed and self-selected intensity exercise*. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 22(2), 265-277.
- Saavedra-Robinson, L. A., Quintana, J. L. A., Fortunato, L. D., & Niño, M. (2012). *Analysis of the lifted weight including height and frequency factors for workers in Colombia*. *Work*, 41, 1639-1646.
- Sealey, R. M., Leicht, A. S., & Ness, K. (2012). *Effect of stroke rate on performance and physiological demand of outrigger canoeing ergometry*. *European Journal Sport Science*, 12(1), 43-48.
- Segura, R. (2007). El entrenamiento y uso del pulsómetro o monitor de Cardio. *Revista Alto Rendimiento*, 6(34), 6-13.
- Simmonds, M. J., Minahan, C. L., Serre, K. R., Gass, G. C., Marshall-Gradisnik, S. M., Haseler L. J., & Sabapathy, S. (2012). *Preliminary findings in the heart rate variability and haemorheology response to varied frequency and duration of walking in women 65-74 yr with type 2 diabetes*. *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 51(2), 87-99.

Sultana, F., Abbiss, C. R., Louis, J., Bernard, T., Hausswirth, C., & Brisswalter, J. (2012). *Age-related changes in cardio-respiratory responses and muscular performance following an Olympic triathlon in well-trained triathletes*. *European Journal of Applied Physiology*, 112(4), 1549-1556.

Tsuji, H., Venditti, F. J., Manders, E. S., Evans, J. C., Larson, M. G., Feldman, C. L., & Levy, D. (1994). Reduced Heart Rate Variability and Mortality Risk in an Elderly Cohort: The Framingham Heart Study. *Circulation*, 90(2), 878-883.

Wallén, M. B., Hasson, D., Theorell, T., Canlon, B., & Osika, W. (2012). *Possibilities and limitations of the Polar RS800 in measuring heart rate variability at rest*. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 1153-1165.

Wilmore J.H, & Costill, D. (2001). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (4ta ed.). Barcelona: Paidotribo.

Referencia del artículo:



Ortega, J., Molina, I. (2013). Revisión sobre los sistemas tecnológicos empleados en detectar y registrar la frecuencia cardiaca en deporte. *E-balonmano.com: Revista de Ciencias del Deporte* 9(2), 91-104. <http://www.e-balonmano.com/ojs/index.php/revista/index>